

14. Dmitriev A.N., Chesnokov Yu.A., Arzhadeeva G.Yu., Lazebnaya Yu.P. Mathematical Model of Forecasting the Iron Ore Materials and Coke Quality Indicators. Defect and Diffusion Forum, Vols. 312–315. 2011. P. 1198–1203.

15. Сырье для черной металлургии. Справочник. Т.1. Сырьевая база и производство окучкованного сырья (сырье, технологии, оборудование) / М.Г. Ладыгичев [и др.]. М.: Машиностроение–1, 2001. 896 с.

16. Абрамов С.Д., Шаврин С.В., Ченцов А.В. Оценка характеристик кокса, определяющих его реакционную способность // Восстановление, теплообмен и гидродинамика в доменном процессе. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1970. С. 32–48.

17. Коган В.Е., Зенин Г.С., Пенкина Н.В. Физическая химия. Ч. 2. Химическая кинетика. СПб: СЗТУ, 2005. 226 с.

РАЗРАБОТКА РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОХОДНОЙ РОЛИКОВОЙ ПЕЧИ

Воробьева Л.А.

*Национальная металлургическая академия Украины,
г. Днепропетровск, Украина*

Наибольшим промышленным потребителем топливно-энергетических ресурсов является горно-металлургический комплекс, в котором основным топливоиспользующим оборудованием являются печи. Нагревательные и термические печи металлургии и машиностроения нуждаются в улучшении показателей использования топлива и экологического состояния окружающей среды. Одним из основных направлений энергосбережения в нагревательных печах является глубокая утилизация теплоты продуктов сгорания на выходе из рабочего пространства печей с использованием малогабаритных теплообменников с нестационарным режимом работы.

Целью данной работы является разработка регенеративной системы отопления для проходной роликовой печи № 3, установленной в трубоволоочильном цехе ЗАО «Centravis production Ukraine», путем повышения степени утилизации теплоты печных газов.

Проходная роликовая печь предназначена для термообработки труб из нержавеющей сталей диаметром 20–95 мм, с толщиной стенок 1,5–33 мм и длиной 1,5–12 м. Режим термообработки включает в себя нагрев труб до температуры 1200 °С, выдержку при этой температуре и охлаждение. Движение труб в печи непрерывное, скорость движения 0,5–5 м/мин. Фактическое время работы печи за год $\tau_{\Gamma} = 4000$ ч/год [1]. Схема газовой роликовой печи представлена на рис. 1.

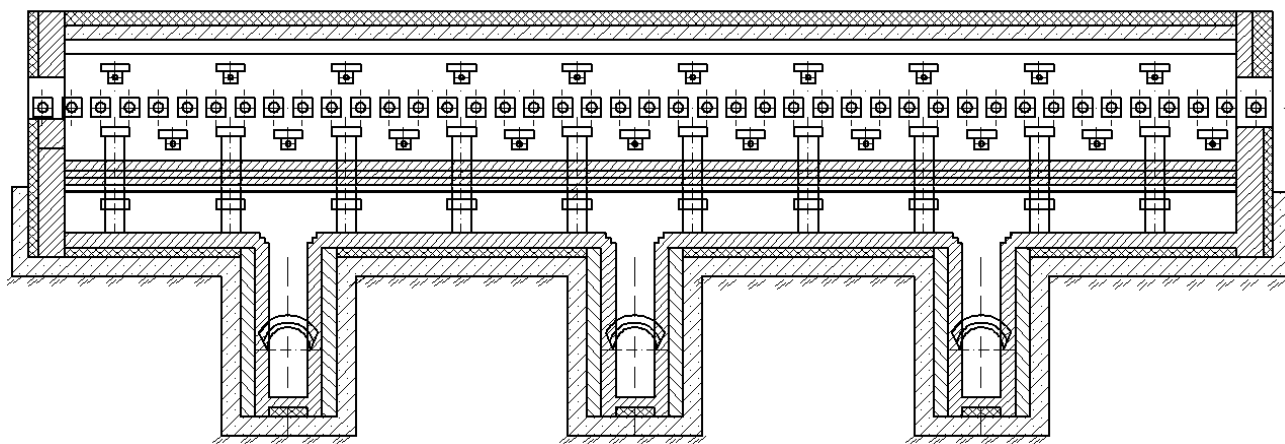


Рис. 1. Схема газовой роликовой печи

Длина рабочего пространства печи составляет 19952 мм (по кладке), ширина – 2320 мм (по кладке). Высота печи между плоскостью осей роликов и высшей точкой свода составляет 1081 мм, высота от пода до плоскости осей роликов – 782 мм, общая высота – 1863 мм.

Печь отапливается природным газом с теплотой сгорания 35 МДж/м³ и оборудована 40-ка горелками типа ГНП–4. Существующая печь по длине имеет две зоны: нагрева и выдержки. В каждой зоне установлено по 20 горелок ГНП–4: 10 – в верхней (над роликами) и 10 – в нижней части боковых стен. Верхний ряд горелок сдвинут относительно нижнего ряда в горизонтальной плоскости на 722 мм. Согласно техническому паспорту печи [1] средний часовой расход природного газа на печь равен 380 м³/ч при давлении газа перед горелкой 4 кПа. Коэффициент расхода воздуха $n_v=1,12$ (действительный удельный расход воздуха при $n_v=1,12$ составит $L_n=9,95$ м³/м³. Удельный выход дыма $v_d=10,8$ м³/м³). Тепловая мощность проходной роликовой печи $M = 3694$ кВт.

Воздух, идущий на горение, подогревается в металлическом трубчатом рекуператоре до температуры $t_v=200$ °С при температуре уходящих из печи дымовых газов $t_{d,печ}=1000$ °С. Коэффициент использования теплоты топлива (КИТ) в проходной роликовой печи с металлическим трубчатым рекуператором составляет $\eta_{рек}=0,565$. КПД печи не превышает 10 %.

Для перевода печи на регенеративное отопление предлагается при сохранении количества зон уменьшить количество горелок в 2 раза (с 40 до 20 шт.). В результате с каждой боковой стены будут установлены по 10 регенеративных горелок (5 горелок в верхней части стены и 5 горелок в нижней). На рис. 2 представлена предлагаемая схема регенеративной горелки с двумя трубчатыми малогабаритными регенераторами.

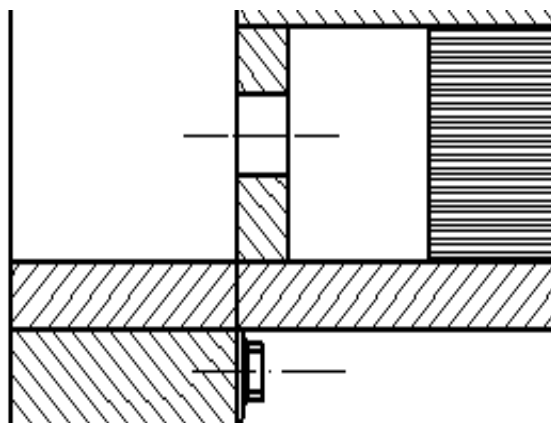


Рис. 2. Горизонтальный разрез регенеративной горелки с двумя трубчатыми регенераторами:

1 – запальная горелка и контроль пламени; 2 – металлические трубчатые регенераторы; 3 – воздухо- и дымопроводы; 4 – электромагнитный газовый клапан

Насадка теплообменника набрана из труб с наружным диаметром 6 мм, толщиной стенки 1 мм, выполненных из стали X18H10T и расположенных горизонтально с шагом в рядах 7 мм [2]. Регенеративные горелки с двумя трубчатыми регенераторами работают постоянно без отключения газа. Горячие дымовые газы с температурой 1000 °С, поступают из печи в правый регенератор, нагревают насадку и уходят в дымопровод 3. В это время в левом регенераторе воздух, поступающий из воздухопровода 3, нагревается и используется для сжигания газа. После перекидки дымовоздушного клапана в правом регенераторе нагревается воздух, а в левом – охлаждается дым. Затем цикл работы заново повторяется.

Насадка, состоящая из пучка труб коррозионностойкой стали для данного завода выбрана не случайно. С целью экономии средств на стоимости теплообменника для сборки регенератора может использоваться обрезь труб, которые производятся на предприятии ЗАО «Centravis Production Ukraine». Данная насадка обладает высокой степенью утилизации

теплоты уходящих дымовых газов, малым аэродинамическим сопротивлением, не подвержена разрушению из-за термических напряжений, легкозаменяема и способна продолжительное время работать в условиях запыленных дымовых газов.

После установки регенеративных горелок температура воздуха, идущего на горение, увеличится с 200 °С до 850 °С. КИТ составит $\eta_{\text{рег}}=0,82$. Средний расход природного газа на роликовую печь после внедрения предложенных мероприятий будет равным $V_{\text{рег}} = 259,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ (на одну горелку $V_{\text{рег.г}}=13 \text{ м}^3/\text{ч}$).

В результате реализации предложений по замене существующей системы отопления проходной роликовой печи ЗАО «Centravis Production Ukraine» на регенеративную систему с применением трубчатых регенераторов будет сэкономлено 31,8 % при увеличении КИТ с 0,56 до 0,83.

Расчет трубчатого малогабаритного теплообменника при заданной тепловой мощности регенеративной горелки

Расчет трубчатого теплообменника выполнен по алгоритму, описанному в [3].

Исходные данные для расчета трубчатого регенератора:

- топливо: природный газ. При горении природного газа с теплотой сгорания $Q_{\text{H}}^{\text{p}}=35 \text{ МДж/м}^3$ получен следующий расчетный состав продуктов горения: $\text{CO}_2=5,8 \text{ \%}$; $\text{H}_2\text{O}=11,0 \text{ \%}$; $\text{O}_2=8,5 \text{ \%}$; $\text{N}_2=74,7 \text{ \%}$;
- средние за период температуры дыма и воздуха на входе в насадку $\bar{t}_{\text{д0}}=1000 \text{ °С}$ и $\bar{t}_{\text{в0}}=20 \text{ °С}$;
- после замены рекуперативной системы отопления печи на регенеративную систему, средняя за период температура воздуха ($\bar{t}_{\text{в.вых}}$), увеличится с 200 °С до 850 °С. Благодаря этому калориметрическая температура горения топлива возрастет. Чтобы сохранить температуру горения на прежнем уровне, необходимо увеличить коэффициент расхода воздуха до $n_{\text{в}}=1,5$ (действительный удельный расход воздуха при $n_{\text{в}}=1,12$ получен равным $L_{\text{н}}=14,15 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Удельный выход дыма $v_{\text{д}}=15,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$);
- средняя за период температура дыма на выходе из регенератора $\bar{t}_{\text{д.вых}}=170 \text{ °С}$ (для получения температуры дымовых газов на выходе из насадки, равной $150 \div 200 \text{ °С}$ через насадку теплообменника, необходимо пропустить 85 % дыма от общего его расхода, а остальные 15 % продуктов горения направить в обход регенератора через существующие дымовые боровы;
- расход газа $13 \text{ м}^3/\text{ч}$ (тепловая мощность горелки 126 кВт);
- расход дыма и воздуха $V_{\text{д}}=169,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,047 \text{ м}^3/\text{с}$) и $V_{\text{в}}=183,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,051 \text{ м}^3/\text{с}$);
- начальная температура трубной насадки – $t_0=20 \text{ °С}$;
- характеристика труб насадки, расположенных в регенеративной камере горизонтально с шагом между осями труб в рядах $\gamma=7 \text{ мм}$:
 - наружный диаметр $d_{\text{нар}}=6 \text{ мм}$;
 - толщина стенки $\delta_{\text{ст}}=1 \text{ мм}$;
 - материал X18H10T;
- длительность периодов нагрева и охлаждения по 60 с;
- перепад температуры подогрева воздуха за период дутья – $\Delta t_{\text{в}} \leq 100 \text{ °С}$.

Результаты расчета:

- поперечное сечение камеры регенератора $0,22 \times 0,22 \text{ м}$;
- высота насадки 0,5 м;
- необходимая скорость воздуха в камере перед насадкой при н.у. 0,97 м/с;

- перепад температуры подогрева воздуха за период дутья 67 °С;
- коэффициент регенерации теплоты 77,1 %;
- масса насадки 59,2 кг для одной горелки, а для двадцати горелок – 1184 кг;
- аэродинамическое сопротивление насадки 196 Па.

Список использованных источников

1. Технический паспорт проходной печи с роликовым подом стана № 3, инв. № 25939 установленной в трубоволочильном цехе ЗАО «Никопольский завод нержавеющей труб», 2006. 36 с.
2. Губинский В.И., Воробьева Л.А., Еремин А.О. Алгоритм расчета трубчатого теплообменника регенеративной горелки // *Металлургическая теплотехника: сб. научн. тр. Национальной металлургической академии Украины*. 2009. С. 87–94.
3. Патент на винахід № 92293. Труба насадка регенеративного теплообмінника; Губинський В. Й., Губинський М. В., Воробйова Л. О., Єрьомін О. О., Сибір А. В. Номер заявки: А2009 123 49; Заявл. 30. 11. 2009. Опубл. 11.10.2010. Бюл. № 19.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Воронцов Е.Ю., Лисиенко В.Г., Пономарев Н.Н.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

Задача эффективного управления технологическими процессами остается актуальной проблемой для предприятий различных отраслей промышленности. Одним из составляющих факторов комплексной проблемы задачи управления является автоматическое поддержание технологических параметров на заданном уровне. С этой целью на предприятиях широко используются ПИД-регуляторы [1].

Настройка регуляторов может быть осуществлена несколькими способами, при этом она зависит от динамических параметров системы. Методы настройки регулятора позволяют определить параметры регулятора в аналитической форме или получать алгоритмы определения параметров настройки. Они позволяют системе управления оставаться устойчивой и достигать заданной цели. Эти методы требуют определенных знаний об управляемых процессах.

Большинство методов настройки ПИД-регуляторов основано на использовании в качестве объекта управления апериодического звена первого порядка, и, следовательно, не могут дать точной настройки и требуемого качества регулирования [2; 3]. В данной статье рассмотрим такие методы настройки, как AMIGO, А.П. Копеловича и Зиглера–Никольса.

Используя современные аппаратное и программное обеспечение можно настроить ПИД-регулятор, опираясь на реальные передаточные функции, описывающие различные технологические процессы. В связи с этим актуальным является представление объекта управления звеном более высокого порядка. В данной статье мы представим объект управления как апериодическое звено второго порядка с запаздыванием

Метод настройки AMIGO был получен путем практического исследования систем управления и анализом их свойств (производительность, устойчивость и т.п.) [4; 5].

При настройке методом AMIGO передаточная функция объекта управления:

$$G(s) = \frac{1}{(Ts + 1)^2} \quad (1)$$

Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид